

ニアフィールド光学は、ナノテクノロジーの進展とともに、基礎技術としての要求が高まっている。従来の技術をより一層高精度化・高密度化するニアフィールド光学顕微鏡や光メモリー技術としての応用だけではなく、ナノスケールで物質と光の相互作用が起こることを通じて、新たな量子デバイス、ナノチューブやフラーーレンをはじめとする材料科学、電子系との相互作用などで新たな発見が生まれている。今回は、これらの基礎となるニアフィールド顕微鏡技術(NSOM)を中心として、関連するWebサイトを紹介する。

## 1. 概 要

まずニアフィールド光学顕微鏡の概要を知ることができるサイトとして、Basel大学のグループのサイト “The Traveling Photon” [<http://monet.physik.unibas.ch/snoms/>] が挙げられる。フレームに現れる introduction 以下のリンクを順にたどることで、概要がつかめるように整理されている。また、Bristol大学のグループのサイトでは走査プロープ顕微鏡全般が扱われているが、ここでは特にニアフィールド光学顕微鏡のページ [<http://polymer.physics.bristol.ac.uk/spm/welcome.html?/spm/techniques/snoms.html>] を紹介しておく。なお、その他走査プロープ顕微鏡についてはフレームに現れるトップページ [<http://polymer.physics.bristol.ac.uk/spm/welcome.html>] からたどることができる。

## 2. プロープの作成

ニアフィールド光学顕微鏡では、プロープの作成自体がナノファブリケーション技術となり、各研究グループでそれぞれのノウハウをもっている。The Swiss Federal Institute of Technology (ETH) のグループの Optical Fiber Tips ページ [<http://www.ceac.ethz.ch/zenobi/Projects/SNOM/tips/fiber-tips.html>] では、主に化学エッティングを用いたプロープ作成技術についてまとめられており、わかりやすい。また、その他のグループのプロープ作成技術に関してもリンクが張られている。

## 3. ニアフィールド光学顕微鏡で気をつけること

ニアフィールド光学顕微鏡では、ナノスケールでの構造変化が検出像となって現れるが、これは両刃の剣とな

りうる。ニアフィールド光学顕微鏡の注意点について、National Institute of Standards and Technology (NIST) の Chemical Imaging With Near-Field Optical Microscopy [<http://www.nist.gov/cstl/div837/837.03/projects/nsomframe.htm>] では、検出像に混入する擬似像 (artifact) や、プロープの形状の影響等、顕微鏡として扱う上で基本的な注意点をわかりやすく述べている。これらは、左に現れるフレーム内の Visible NSOM の項目として取り上げられている。

## 4. プロープの特徴

ニアフィールド光学顕微鏡には、いくつかのタイプのプロープが考案されているが、主に散乱型のプロープ、微小開口プロープ、プロープを用いないタイプに分けられる。それぞれ、試料や目的に応じて長所と短所があるが、これらをプロープごとに分類して紹介する。

### a) 散乱型プロープ

散乱型プロープの長所としては、プロープ先端を理想的には原子レベルまで細くすることができるので、分解能の高い像を得ることができるといわれている。このタイプのプロープを用いて、現在のところ最高の画像分解でデータが得られているのは、アメリカ IBM のグループである。このデータを IBM のサイト [<http://www.research.ibm.com/research/press/opticall.html>] で見ることができる。Pacific Northwest National Laboratory の Single-Molecule Spectroscopy and Dynamics Near-Field and Nonlinear Optical Microscopy サイト [<http://www.emsl.pnl.gov:2080/homes/csd/sms/homepage.html>] でも、単分子イメージングを目指した試みを知ることができる。このグループでは分光学的な研究も精力的に行われており、ニアフィールド光学ではないが、コヒーレントアンチストークスラマン分光 (CARS) によるイメージングも面白い。散乱型プロープでは主に金属をプロープとして用いるため、散乱効率が高いという特徴ももっている。Northwestern 大学の Surface Plasmon Near-Field Optical Microscope のページ [<http://pubweb.nwu.edu/~akryuk/spom/spomfram.htm>] では、表面プラズモンをニアフィールドプロープで散乱させて光検出する研究について、詳しく紹介している。また、散乱効率は赤外域で

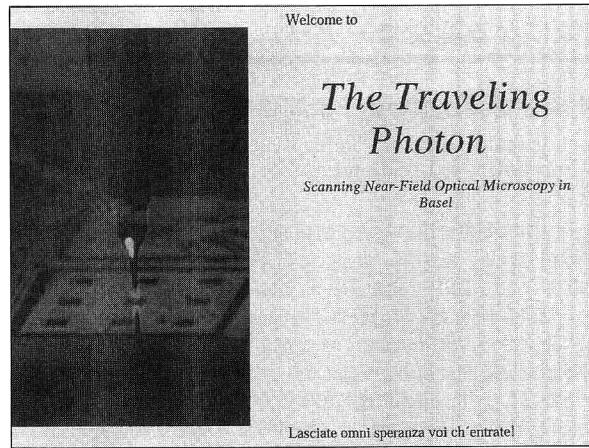
特に高くなるため、エネルギーの弱い赤外ニアフィールド顕微鏡にも有効となるだろう。フランスの Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles (ESPCI) では、赤外 NSOM に金属プローブを用いている [<http://www.espci.fr/Optique/champ.htm>].

#### b) 微小開口プローブ

微小開口プローブでは、局所領域の発光や蛍光を、バックグラウンド光の影響を受けずに検出できるという特徴がある。これを用いて、サンタバーバラ大学のグループは、表面発光レーザーダイオードのスピン状態を微小開口プローブを通じて行っている。Twente 大学のグループでは、遺伝子イメージング [<http://www.tn.utwente.nl/top/research/smd/smd.htm#maria>] を行う際に微小開口プローブを用いている。広範に走査プローブ顕微鏡が扱われているので、トップページ [<http://www.tn.utwente.nl/top/research/>] も併せて示しておく。前述の概要にも示したが、ETH の Nanoanalysis & Spectroscopy ページ [[http://www.ceac.ethz.ch/zenobi/Projects/SNOM/SNOM\\_MAIN.html](http://www.ceac.ethz.ch/zenobi/Projects/SNOM/SNOM_MAIN.html)] では、表面の微細加工を行った例や、表面増強ラマン (SERS) を用いた NSOM の結果が Web に紹介されている。綺麗な画像を多く見ることができるのは、Bell 研究所の Topical Gallery [<http://www.bell-labs.com/new/gallery/spm.html>] や、Ulm 大学のページ [<http://wwwex.physik.uni-ulm.de/>] がよいだろう。

#### c) プローブを用いないニアフィールド光学顕微鏡

少し風変わりなニアフィールド光学顕微鏡として、プローブを用いないタイプが考案されている。これらは、目的によっては欠点となりうるプローブ顕微鏡を改良したものといえるだろう。プローブ走査の困難と装置の煩雑さを改善すべく、融合研のグループは、プローブを使わないニアフィールド光メモリーを考案しており、Web ページ [<http://www.aist.go.jp/NAIR/optoj-index.htm>] でも紹介している。また、プローブ自体が試料場を変化させるという点を改善するため、コンタクトリソグラフィー方式のニアフィールド光学顕微鏡が考案されている。ETH のページ [<http://www.ifh.ee.ethz.ch/~martin/index.html>] には理論が示され、静岡大学のグループのページ [<http://optsci.eng.shizuoka.ac.jp/g/g.html>] では、実験結果だけであるが、見ることができる。



Basel 大学のサイトのトップページ。

## 5. ニアフィールド光学リンク集

ここで取り上げたサイト以外にも、多くのグループがニアフィールド光学に関する結果を Web ページにて公開している。Web でこれらの研究について知るのに便利なサイトを紹介する。

- ETH Zurich, ニアフィールド光学総合 [<http://www.chem.ethz.ch/~hecht/nfo.html>]. ニアフィールド光学に関する総合リンク集。国際会議の情報もある。
- WWW Scanning Probe Microscopy LINKS [<http://www.embl-heidelberg.de/~almann/>]. SPM 全般に関連するリンク集。
- ノースカロライナ州立大学 [<http://spm.aif.ncsu.edu/>]. SPM 全般に関連するリンク集。
- ニアフィールド・ナノ光学 [<http://www.tuat.ac.jp/~nfno/>]. 日本のニアフィールド研究拠点。
- 大阪大学 [<http://lasie.ap.eng.osaka-u.ac.jp/>]. ニアフィールドに関する会議の情報等、日本語と英語とで書かれている。「研究内容」から、ニアフィールド技術に関連する内容を知ることもできる。

なお、本記事に掲載の Web サイトは、 [<http://www.mel.go.jp/soshiki/buturi/hikari/webwatcher.html>] からたどることができます。本記事に関するご意見やお問い合わせは、[furukawa@mel.go.jp](mailto:furukawa@mel.go.jp), [itoh@bk.tsukuba.ac.jp](mailto:itoh@bk.tsukuba.ac.jp), [optics@kobe-u.ac.jp](mailto:optics@kobe-u.ac.jp) までお願いします。